

2相チタンアルミナイド高温材料の組織設計

| | |
|-----|---|
| 著者 | 丸山 公一 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/41414 |

2相チタンアルミナイド高温材料の組織設計

(08455313)

平成8年度～平成10年度科学研究費補助金(基盤研究 (B) (2))研究成果報告書

平成11年3月

研究代表者 丸 山 公 一

(東北大学大学院工学研究科 教授)

はしがき

この報告書は、平成 8～10 年度に文部省科学研究費の補助金で行われた研究「2 相チタンアルミナイド高温材料の組織設計」に関する成果をまとめたものである。報告書は 5 章からなる。

第 2 章 TiAl 合金のクリープ強度に対する組織安定性の影響

TiAl 合金のクリープ強度に対する組織安定性の影響を検討し、次のことを明研究の目的

本研究は、複相層状組織を有する高温構造材料の組織設計指針を確立することを目的とする。 $\alpha_2\text{Ti}_3\text{Al}$ 相と γTiAl 相からなる二相チタンアルミナイドは、軽量でかつ高い高温強度を示し、次世代の高温材料として注目されている。この材料をより高性能化するには、その組織を最適に設計する方法論を確立する必要がある。そこで具体例として、有望な次世代高温材料であるこの TiAl 金属間化合物を取りあげた。

材料強度は組織に大きく依存し、組織設計は材料開発や合金設計の最重要項目である。しかし、複数の組織因子を同時に制御し組織を最適化する方法論は、高温材料では確立されたとは言い難い状況にある。結晶粒微細化で延性は向上するが、クリープ変形抵抗は低下する。このように、高温材料では組織制御が相反する影響を及ぼすことがしばしばあり、組織最適化の定量的かつ詳細な検討が不可欠である。そのためには組織と高温強度の関係を定量化しておく必要がある。本研究では「組織と機械的性質の関係の定量化」を要点として実験を行い、高温材料の組織設計の方法論を確立するための研究を行った。

この結晶のクリープ挙動に対する層状組織の方向の影響、クリープ変形中の組織変化などを検討した。その結果、TiAl 合金のクリープ強度は層状組織の方向に依存し、層状組織が応力軸に平行あるいは垂直の時に高いクリープ強度を示すことを明らかにした。

研究成果

第 1 章 γ/α_2 層状組織を有する TiAl 合金の組織と高温強度の相関

本材料は、組成や熱処理条件によって種々の組織形態をとる。ラメラ粒と γ 粒からなる Duplex 組織では、ラメラ粒が多いほど高強度で、粗大結晶粒の完全ラメラ組織が、最高の高温強度を示す。最も高強度の完全ラメラ材料のクリープ強度も、以下の組織因子に影響されることを明らかにした。

ラメラ層間隔が小さいほど、高いクリープ強度を示す。ただし、この強化は、高クリープ速度あるいは低温で顕著になる。逆に低クリープ速度では、層間隔の影響が消失し、さらに低クリープ速度になると、層間隔が小さいほどクリープ速度が上昇する可能性がある。

微細な層間隔のラメラ組織は、応力負荷時(クリープ開始時)の降伏を抑制し、

高応力域で大きな強化を引き起こす。

0.1mm 以上の結晶粒径では、クリープ強度は結晶粒径に依存しない。しかし、それ以下では、結晶粒の微細化はクリープ強度を低下させる可能性がある。

γ 相の体積比(Al 濃度)は、クリープ強度に大きな影響は及ぼさない。

第2章 TiAl 合金のクリープ強度に対する組織安定性の影響

TiAl 合金のクリープ強度に対する組織安定性の影響を検討し、次のことを明らかにした。

一般に完全ラメラ（層状）組織を持つ材料では、ラメラ層間隔が小さいほど、高いクリープ強度を示す。ただし低クリープ速度（低応力）では、層間隔の細かい組織で 3 次クリープ域での弱化（クリープ速度加速）が激しくなり、層間隔微細化による強化が消失する。これは、微細な層間隔の材料のラメラ組織が熱的に不安定で、変形中に動的再結晶や不連続粗大化反応を起こすこと、低応力では α_2 相中の $a+2c$ 転位の活動が容易になることが、その原因である。

ラメラ組織を高温で焼鈍すると、不連続粗大化反応が事前に完了し、粒界が安定化する。この処理を利用すると、クリープ変形中の動的再結晶や不連続粗大化反応が抑制される。その結果、微細層間隔の材料の低応力側でのクリープ強度が向上し、層間隔微細化による強化を低クリープ速度でも実現できる。ただし、不連続粗大化反応が起きた領域の量が増えすぎると、層間隔増大による材料弱化の逆効果で、全応力範囲のクリープ強度が低下する。

第3章 TiAl 合金 PST 結晶のクリープ挙動

TiAl 合金 PST 結晶は、完全層状組織の TiAl 合金の基礎単位となるものである。この結晶のクリープ挙動に対する層状組織の方向の影響、クリープ変形中の組織変化などを検討した。その結果、TiAl 合金のクリープ強度は層状組織の方向に大きく依存し、層状組織が応力軸に平行あるいは垂直の時に高いクリープ強度を与えることを明らかにした。

第4章 α_2 Ti₃Al 合金のクリープ挙動

TiAl 合金のクリープ挙動を明らかにする基礎資料として、 α_2 Ti₃Al 合金のクリープ挙動を広範囲な条件で調べた。

第5章 TiAl 合金の X 線応力測定

TiAl 合金の各相内での応力状態を定量評価するために、X 線応力測定を適用し、その問題点などを検討した。

研究組織

研究代表者： 丸山 公一 (東北大学大学院工学研究科 教授)

研究分担者： 及川 洪 (東北大学大学院工学研究科 教授 97年12月)

平成8年度)

研究分担者： 小池 淳一 (東北大学大学院工学研究科 助教授)

研究分担者： 佐藤 裕之 (東北大学大学院工学研究科 講師)

(研究協力者： Gerhard Wegmann 平成9, 10年度)

Processing of Steels and Other Materials), ed. by T. Chandra and T. Sakai, TMS, Warrendale, (1997), p.1559-1565. 97年12月

研究経費

平成8年度 3,500千円

平成9年度 3,100千円

平成10年度 1,100千円

計 7,700千円

研究発表

(1) 学会誌等

1. "TiAlのクリープ変形とクリープ強度"

丸山公一

まてりあ, 35(1996), No.10, p.1070-1076. 96年10月

2. "General Creep Characteristics of α_2 Single-Phase Polycrystalline Intermetallics"

Y. Nagae, K. Maruyama and H. Oikawa

Mater. Sci. Eng., A213(1996), p.32-36. 96年11月

3. "High Temperature Strength of α Ti-Al Alloys with a Locally Ordered Structure"

J. Koike, K. Egashira, K. Maruyama and H. Oikawa

Mater. Sci. Eng., A213(1996), p.98-102. 96年11月

4. "完全ラメラ組織 TiAl 合金の高温使用を目的とした組織設計"

山本隆一, 中久喜英夫, 丸山公一, 藤網宣之,

学振123委員会研究報告, 37(1996), No.3, p.203-210. 96年11月

5. "TiAl基軽量耐熱金属間化合物"

丸山公一

学振123委員会研究報告, 38(1997), No.3, p.287-297. 97年11月

6. "Effects of Lamellar Spacing, Volume Fraction and Grain Size on Creep Strength of Fully Lamellar TiAl alloys"
K. Maruyama, R. Yamamoto, H. Nakakuki and N. Fujitsuna
Mater. Sci. Eng., A239/240(1997), p.419-428. 97年12月
7. "Effects of Stress and Temperature on Lamellar Spacing Dependent Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloys"
R. Yamamoto and K. Maruyama
Thermec'97 (Proceedings of the International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials), ed. by T. Chandra and T. Sakai, TMS, Warrendale, (1997), p.1559-1565. 97年12月
8. "Effects of Volume Fraction of Constituent Phases of Fully Lamellar TiAl Alloys on Creep Strength"
R. Yamamoto, G. Wegmann and K. Maruyama
Proc. Third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM3), Ed. By M.A. Imam, R. DeNale, S. Hanada, Z. Zhong, and D.N. Lee, TMS, Warrendale, PA, (1998), p.2343-2348. 98年7月
9. "Effects of Discontinuous Coarsening of Lamellae on Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloys"
R. Yamamoto, K. Mizoguchi, G. Wegmann and K. Maruyama
Intermetallics, 6 (1998), No.7-8, 699-702. 98年10月
10. "TiAl金属間化合物のX線応力測定における粗大結晶粒対策および加工表面への適用限界"
後藤時政, 佐々木敏彦, 丸山公一, 広瀬幸雄
材料, 47(1998), No.11, p.1170-1177. 98年11月
11. "Importance of Microstructural Stability to Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloy"
R. Yamamoto, K. Mizoguchi, G. Wegmann and K. Maruyama
Proc. 2nd International Symposium on Gamma Titanium Aluminides (ISGTA '99), ed. By Y.-W. Kim, et al., TMS, (1999), 印刷中. 98年3月
12. "Effect of the Lamellar Orientation on the Creep Resistance in Polysynthetically Twinned (PST) Ti-48mol%Al"
G. Wegmann, R. Yamamoto, K. Maruyama, H. Inui and M. Yamaguchi
Proc. 2nd International Symposium on Gamma Titanium Aluminides (ISGTA '99), ed. By Y.-W. Kim, et al., TMS, (1999), 印刷中. 98年3月
13. "On the Microstructural Stability of TiAl/Ti₃Al Polysynthetically Twinned (PST) Crystals under Creep Conditions"
G. Wegmann and K. Maruyama

第1章 γ/α_2 層状組織を有する TiAl 合金の組織と高温強度の相関

(2) 招待講演

1. "Effects of Lamellar Spacing, Volume Fraction and Grain Size on Creep Strength of Fully Lamellar TiAl alloys" クリープ強度

K. Maruyama, R. Yamamoto, H. Nakakuki and N. Fujitsuna

4th International Conference on High Temperature Intermetallics, San Diego, USA, April 27 - May 1, 1997.

2. "Effects of Stress and Temperature on Lamellar Spacing Dependent Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloys"

R. Yamamoto and K. Maruyama

International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials, Wollongong, Australia, July 7-11, 1997.

3. "TiAl 基軽量耐熱金属間化合物"

丸山公一

学振 123 委員会創立 40 周年記念講演会, 東京, 11 月 26-27 日, 1997 年

4. "Effects of Discontinuous Coarsening of Lamellae on Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloys"

R. Yamamoto, K. Mizoguchi, G. Wegmann and K. Maruyama

Kyoto Workshop on High Temperature Intermetallics, Kyoto, May 10-13, 1998.

5. "Importance of Microstructural Stability to Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloy"

R. Yamamoto, K. Mizoguchi, G. Wegmann and K. Maruyama

2nd International Symposium on Gamma Titanium Aluminides (ISGTA '99), San Diego, USA, February 28 - March 4, 1999.

(3) 出版物

1. "高温強度の材料科学 - クリープ理論と実用材料への適用",

丸山公一, 中島英治,

内田老鶴圃, p1-329, 1997 年 4 月.

第1章 γ/α_2 層状組織を有する TiAl 合金の組織と高温強度の相関

TiAl のクリープ変形とクリープ強度

1. "TiAl のクリープ変形とクリープ強度"

丸山公一

まてりあ, 35(1996), No.10, p.1070-1076.

96 年 10 月

2. "完全ラメラ組織 TiAl 合金の高温使用を目的とした組織設計"

山本隆一, 中久喜英夫, 丸山公一, 藤網宣之,

学振 123 委員会研究報告, 37(1996), No.3, p.203-210.

96 年 11 月

3. "TiAl 基軽量耐熱金属間化合物"

丸山公一

学振 123 委員会研究報告, 38(1997), No.3, p.287-297.

97 年 11 月

4. "Effects of Lamellar Spacing, Volume Fraction and Grain Size on Creep Strength of Fully Lamellar TiAl alloys"

K. Maruyama, R. Yamamoto, H. Nakakuki and N. Fujitsuna

Mater. Sci. Eng., A239/240(1997), p.419-428.

97 年 12 月

5. "Effects of Stress and Temperature on Lamellar Spacing Dependent Creep Strength of Fully Lamellar TiAl Alloys"

R. Yamamoto and K. Maruyama

Thermec'97 (Proceedings of the International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials), ed. by T. Chandra and T. Sakai, TMS, Warrendale, (1997), p.1559-1565.

97 年 12 月

6. "Effects of Volume Fraction of Constituent Phases of Fully Lamellar TiAl Alloys on Creep Strength"

R. Yamamoto, G. Wegmann and K. Maruyama

Proc. Third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM3), Ed. By M.A. Imam, R. DeNale, S. Hanada, Z. Zhong, and D.N. Lee, TMS, Warrendale, PA, (1998), p.2343-2348.

98 年 7 月

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録しておりません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。